Das Verhalten der EKG-Vektoren bei angeborenen Herzfehlern vor und nach der Operation

von

Klaus Leimenstoll

aus Bayreuth

1964.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41538102_0057

Aus der Chirurgischen Universitätsklinik Erlangen
Direktor: Prof. Dr. med. G. Hegemann

Das Verhalten der EKG-Vektoren bei angeborenen Herzfehlern vor und nach der Operation

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich-Alexander-Universität
zu
Erlangen

vorgelegt von
Klaus Leimenstoll
aus Bayreuth

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg

Dekan: Professor Dr. W.-D. Keidel
Referent: Professor Dr. G. Hegemann
Tag der mündlichen Prüfung: 27. November 1964

Meinen Eltern

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK - LEIDEN -

Die freundliche Unterstützung,die diese Arbeit durch Herrn Prof. Dr. Hegemann erfahren hat,möchte ich an dieser Stelle dankbar erwähnen.
Besonderen Dank schulde ich Herrn Dr. Leutschaft,der mir die Anregung zu dieser Arbeit gab und mir seine wertvollen Kenntnisse auf dem Gebiet des EKGs unzählige Male stets geduldig vermittelte.
Die zahlreichen kleinen Hilfeleistungen,die mir die Mitarbeiter des Kreislauflabors zuteil werden ließen,seien auch hier nicht vergessen.

Inhaltsübersicht

A Einleitung und allgemeiner Teil 1

B Definition und Berechnung des Ventrikelgradienten . . 5

C Spezieller Teil:

I. Herzfehler mit vorwiegender Linksbelastung

1. Offener Ductus arteriosus Botalli 9

2. Aortenisthmusstenose 14

II. Herzfehler mit vorwiegender Rechtsbelastung

1. Pulmonalstenose 17

2. Vorhofseptumdefekt vom Sekundumtyp 20

3. Fallotsche Trilogie 23

III. Herzfehler mit Rechts- und Linksbelastung

1. Ventrikelseptumdefekt 28

2. Fallotsche Tetralogie 31

3. Fallotsche Pentalogie 35

D Diskussion der Ergebnisse 39

E Zusammenfassung 43

F Literaturverzeichnis 44

Einleitung

Größe und Richtung der Vektoren beim EKG des Menschen wurden erstmalig im Jahre 1934 von Wilson, Barker, Macleod und Johnston (28) bestimmt. Die gleichen Autoren führen auch auf Grund der vektoriellen Analyse der QRS und T Flächen den Begriff des Ventrikelgradienten ein.

Ashman und Byer (2, 3) greifen den Gedanken auf und veröffentlichen im Jahre 1943 mehrere Beiträge zum "normalen menschlichen Ventrikelgradienten" . Aus ihrer Schule stammt vom gleichen Jahre eine Untersuchung über die Beziehung zwischen der anatomischen und elektrischen Achse des Herzens (16).

Während man sich anfangs bemühte, die Normalwerte bei Herzgesunden festzustellen, um die neue Methode der Auswertung eines EKGs auf eine feste Grundlage zu stellen, befassen sich neuerdings zahlreiche Autoren (26, 11, 27) mit der klinischen Brauchbarkeit der Flächenvektoren $\hat{A}$ QRS und $\hat{A}$ T , sowie mit dem daraus resultierenden Gradienten G.

Seitdem angeborene und erworbene Herzfehler einer operativen Behandlung zugänglich geworden sind, wurden viele Versuche unternommen auch die Vektoranalyse und den Ventrikelgradienten den bisherigen diagnostischen Mitteln anzugliedern.

Bereits 1953 berichten Welsch und Wieland (27) über drei Fälle von Pulmonalstenose, bei welchen sie eine starke Rechtsabweichung der elektrischen Achse $\hat{A}$ QRS finden.

Burch und de Pasquale (6, 7) widmen zwei Arbeiten den Flächenvektoren beim Herzen mit offenem Foramen secundum, bzw. mit offenem Foramen primum und den Verhältnissen beim Ventrikelseptumdefekt.

Eine besonders wertvolle Übersicht der wichtigen Herzfehler haben Sodi Pallares und seine Mitarbeiter (23) zusammengestellt. An Hand von 1331 Patienten wird die prozentuale Verteilung von $\hat{A}$ QRS auf die einzelnen Sektoren des Systems nach

Bayley demonstriert. Wir werden in den einzelnen Abschnitten die von Sodi Pallares überlieferten Skizzen wiedergeben und sie mit unseren eigenen Werten vergleichen.

Weiterhin liegen Veröffentlichungen über die isolierte angeborene Pulmonalstenose vor, bei der auch eine Operation durchgeführt wurde. Dabei konnte festgestellt werden, daß nach der Korrektur der Stenose die Flächenvektoren den Normalwerten zustreben (18).

Mit den postoperativen Veränderungen des EKGs von Patienten mit Aortenisthmusstenose und offenem Ductus arteriosus hat sich 1954 Landtman (17) befaßt. Da sich nach seiner Aussage beide Arten von angeborenen Mißbildungen hinsichtlich der Flächenvektoren und der Winkel α nur wenig von den Normalwerten abgrenzen lassen, mißt er ihnen für die Diagnose nur eine beschränkte Bedeutung zu. Gleichwohl beobachtet auch Landtman bei den operierten Patienten deutliche Änderungen.

Aus den umfangreichen Studien von Burch und de Pasquale (8) verdient die Abhandlung über die Pulmonalstenose in Verbindung mit dem Vorhofseptumdefekt, also praktisch die sogenannte Fallotsche Trilogie, besonderes Augenmerk. Allerdings sind in dieser Abhandlung keine Angaben über ein postoperatives Verhalten der Vektoren zu finden.

Ein aufmerksames Interesse gilt einer Arbeit der eben genannten Verfasser Burch und de Pasquale (19), welche die sogenannte Fallotsche Tetralogie zum Thema hat. Es geht daraus die Abhängigkeit der Vektoren und ihrer Winkel vom systolischen Blutdruck im rechten Ventrikel hervor.

In der Regel sind die Herzfehler mit charakteristischen Veränderungen in der Hämodynamik gegenüber dem gesunden Herzen verbunden. So finden sich größere oder kleinere Schlagvolumina in Kombination mit abnormen Blutdruckwerten im linken oder im rechten Ventrikel bzw. im großen oder im kleinen Kreislauf. Diese Faktoren haben alle einen Einfluß auf den QRS-Komplex und die T-Zacke und folglich auch auf den Gradienten. So geben Untersuchungen über Zusammenhänge von mittlerem Blutdruck

und Ventrikelgradient, wie sie von Dohrman und Schmidt (9) bei Patienten mit reiner Hypertonie ohne Vitium angestellt wurden, wichtige Hinweise. Es zeigt sich, daß mit Zunahme der Höhe des mittleren Blutdruckes der Ventrikelgradient kleiner wird. Dagegen ist für den Vektor QRS ein Größenzuwachs zu verzeichnen. Gleichzeitig führt der Vektor QRS eine Linksdrehung aus.

Mit erhöhtem Schlagvolumen sah Abel (1) eine ständige Verminderung des Ventrikelgradienten gekoppelt, die sich bei starker Verkleinerung von $\hat{G}$ auch auf $\hat{A}$ QRS und $\hat{A}$ T erstreckt.

Wie noch ausführlich erläutert wird, setzen sich die Flächen von QRS bzw. T aus dem Produkt von Spannung mal Zeit zusammen. Beide Größen sind im EKG veränderlich. Schaefer (12) hat dazu verschiedene Komponenten herausgestellt, die eine Spannung im Sinne einer Hochspannung erzeugen.

Der Hochspannung werden demnach drei wesentliche Ursachen zugeschrieben:

1. Einmal geht sie auf eine Zunahme der mechanischen Spannung zurück. Dies ist bei Hypertonie der Fall. Man spricht dann von tonogener Hochspannung.

2. Als zweiter Faktor kommt ein vergrößerter Querschnitt aller gleichzeitig erregten Fasern in Frage, wie er beim hypertrophen Herzen zu finden ist. Steigt etwa der Durchmesser einer Faser von 15 µ auf 23 µ, so verdoppelt sich das Potential (21). Hier läßt sich noch eine weitere Trennung durchführen. Es kommt nämlich sowohl auf den Querschnitt der einzelnen Faser an, als auch auf die sogenannte "freie Weglänge". Der Begriff der "freien Weglänge" ist so zu verstehen, daß bei gleichbleibender Geschwindigkeit der Erregungsausbreitung die Erregung auf einer durch Hypertrophie verlängerten Faser auch länger verweilt und daher zu einem bestimmten Zeitpunkt mehr Fasern gleichzeitig unter Erregung stehen als beim nicht hypertrophen Herzen.

3. Schließlich muß noch die seltene echte Hyperplasie genannt werden, die mit einer vermehrten Zahl von Herzmuskelfasern einhergeht.

Alle drei Faktoren bewirken über den Weg des anwachsenden Spannungspotentials eine vergrößerte QRS-Fläche und entsprechend einen längeren QRS-Vektor. Umgekehrt muß festgehalten werden, daß eine reine Dilatation die Spannung auf minimale Werte zurückdrängen kann. Man spricht dann von dilatatorischer Niederspannung (12).

Definition und Berechnung des Ventrikelgradienten

Man kennt seit langem die Theorie von der Differenzkonstruktion eines EKGs. Gemäß dieser Theorie gilt der QRS-Komplex als Ausdruck der Erregungsausbreitung, die T-Welle als Zeichen des Erregungsrückganges. Handelte es sich um eine elementare Erregungsrückbildung wie sie vom Skeletmuskel geläufig ist, so wäre als Summe des Zeitspannungsintegrals QRS + T = O zu erwarten. Eine elementare Erregungsrückbildung kann nur an der einzelnen isolierten Herzmuskelfaser ablaufen. Bei Ableitung des Erregungsablaufes vom gesamten Muskelgefüge eines Ventrikels beobachtet man einen sogenannten apicobasalen Erregungsrückgang als Folge einer ungleichmäßigen Erregungsrückbildung von Spitze und Basis (21). Die Repolarisation läuft in einigen subepicardialen Abschnitten des Ventrikels bereits ab, während in anderen subendocardialen Bezirken die Depolarisation noch nicht vollständig erfolgt ist. Diese Differenzen der unterschiedlichen Dauer in der elektrischen Aktivität werden als Ventrikelgradient bezeichnet (10). Als Ausdruck dessen heben sich nun die Zeitspannungsintegrale $\hat{A}$ QRS - $\hat{A}$ T nicht auf, sondern man erhält den Ventrikelgradienten $\hat{G}$. Es ergibt sich also: $\hat{A}$ QRS - $\hat{A}$ T = $\hat{G}$.
$\hat{G}$ ist durch seine Größe (µVsec) und seinen Winkel α bestimmt und daher als Vektor zu betrachten. "Der Vektor gibt also die Richtung eines zusätzlichen Potentials an, welches sich dem elementaren Erregungsrückgang überlagert". (Schaefer, 21).

Als Grundlage der Berechnungen dient das EKG der Extremitätenableitungen I, II u und III. Wir bekommen so drei gleichzeitig geschriebene Kurven, aus denen wir durch Kombination von mindestens zwei Kurven Größe und Richtung des Ventrikelgradienten gewinnen.

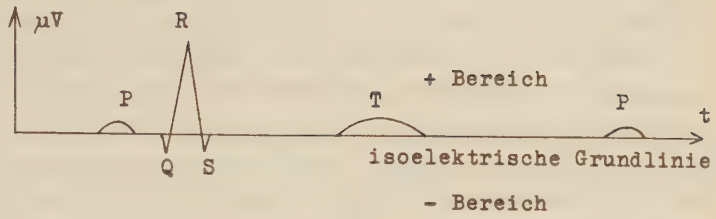
Wir schaffen uns zuerst eine sogenannte Isoelektrische Grundlinie, die sich am zuverlässigsten aus der Verlängerung der T-P Strecke ergibt (s. Skizze 1).
Von dieser Grundlinie ausgehend berechnen wir getrennt die Fläche von QRS und T. Flächen, die über der Grundlinie liegen, bekommen nach Vereinbarung das Vorzeichen +, bzw. Flächen, die

unter der Grundlinie liegen, das Vorzeichen -.
Den Flächen wird jeweils die verwendete Ableitung als Index hinzugefügt, z. B. $\hat{A}\ QRS_{III}$ oder $\hat{A}\ T_{II}$ und zum Zeichen, daß es sich um Flächen handelt, das Symbol $\hat{A}$.

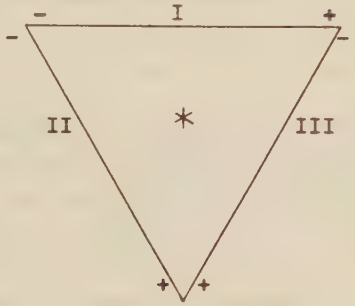
Die EKG-Kurve läßt sich nun in einzelne Dreiecke zerlegen, als deren Grundlinie die Zeitachse t und als deren Höhen die Spannungsachse V gelten. Die übliche Geschwindigkeit bei der Aufzeichnung des EKGs beträgt 50 oder 100 mm/sec, d. h. 1 mm der Zeitachse entspricht 1/50 bzw. 1/100 sec. Bei der Spannungsachse kommen auf 1 mV 10 mm in der Aufzeichnung. Wir müssen 1 mm^2 Fläche unserer Kurven 1 µVsec bei 100 mm und 0,5 µVsec bei 50 mm Papiergeschwindigkeit zuordnen. Wir verwenden die Formel für die Berechnung eines Dreieckes $\frac{g \times h}{2}$ und setzen dafür $\frac{t \times V}{2} = \frac{\text{Zeit x Spannung}}{2}$ = µVsec ein. Die errechneten Zeitspannungsintegrale (µVsec) trägt man entsprechend der Ableitung, von der sie stammen, vorzeichengerecht in das Einthovensche Dreieck ein (Skizze 2). Zum Zwecke größerer Übersichtlichkeit verschiebt man die Achsen des Einthovenschen Dreiecks von Skizze 2 zu einem gemeinsamen Schnittpunkt (Skizze 3). So entsteht das triaxiale System nach Bayley. Wichtig ist, daß die Achsen neben dem oben erwähnten Index auch mit einem Vorzeichen versehen werden müssen. Jetzt setzt man die Werte von QRS und T zweier Ableitungen gemäß ihrer Vorzeichen in das System ein und ermittelt den Schnittpunkt der auf den abgetragenen Strecken senkrecht stehenden Geraden. Der erhaltene Schnittpunkt und der Mittelpunkt des triaxialen Systems sollen nun verbunden werden. Man hat damit dem Wert des Zeitspannungsintegrals QRS, d. h. der Fläche QRS (µVsec) eine Richtung gegeben und aus ihr einen Vektor konstruiert. Das gleiche geschah analog mit T. Die Vektoren bezeichnet man als $\hat{A}\ QRS$ und $\hat{A}\ T$. Bisweilen werden in der Literatur auch die Bezeichnungen QRS_J und T_J angegeben.

Durch Parallelverschiebung von $\hat{A}\ QRS$ und $\hat{A}\ T$ erhalten wir erneut einen Schnittpunkt, dessen Verbindung zum Mittelpunkt des triaxialen Systems den Ventrikelgradienten = $\hat{G}$ vermittelt. Seine Größe und sein Winkel kann direkt aus der Zeichnung abgelesen werden.

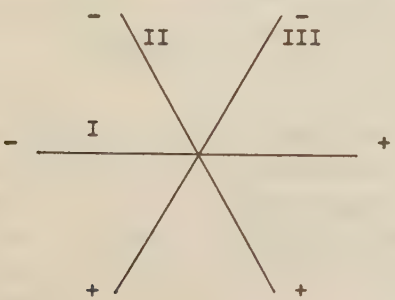
Skizze 1:



Skizze 2: Dreieck nach Einthoven



Skizze 3: Triaxiales System nach Bayley



In den vorliegenden Untersuchungen werden an Stelle der sonst angegebenen Konstruktion aus zwei Ableitungen alle drei Extremitätenableitungen verwandt. Im Idealfalle würden sich die drei Ableitungen des Einthovenschen Dreiecks in einem Punkt schneiden. Dies trifft in der Regel wegen der relativ großen Fehlerbreite der Messungsmethode nicht zu. Meistens sieht man statt eines Punktes ein mehr oder weniger großes Dreieck, von dessen Schwerpunkt aus die endgültigen Messungen vorgenommen werden. Zwar erscheint dieses Verfahren anfangs recht aufwendig, doch es bietet den Vorzug genauer zu sein. Außerdem besteht bei Dreiecken mit einer Seitenlänge von mehr als 10 mm auf Grund eigener Erfahrungen die Möglichkeit eines Rechen- oder Vorzeichenfehlers. Dieser Hinweis auf mögliche Fehler fehlt, wenn man sich nur zweier Ableitungen bedient.

Spezieller Teil

Die Untersuchung erstreckt sich auf 65 Patienten, die in den Jahren 1959 bis 1962 an der chirurgischen Klinik der Universität Erlangen wegen angeborener Herzfehler operiert wurden.

Im einzelnen verteilen sich die Patienten auf folgende Gruppen:

I.	Herzfehler mit vorwiegender Linksbelastung	
	1. Offener Ductus arteriosus Botalli	32 Pat.
	2. Aortenisthmusstenose	4 Pat.
II.	Herzfehler mit vorwiegender Rechtsbelastung	
	1. Pulmonalstenose	7 Pat.
	2. Vorhofseptumdefekt vom Sekundumtyp	12 Pat.
	3. Fallotsche Trilogie	4 Pat.
III.	Herzfehler mit Rechts- und Linksbelastung	
	1. Ventrikelseptumdefekt	3 Pat.
	2. Fallotsche Tetralogie	2 Pat.
	3. Fallotsche Pentalogie	1 Pat.

Der älteste Patient war 39 Jahre, der jüngste 3 Jahre alt.

Die vorliegende Untersuchung bezieht sich jeweils auf zwei elektrokardiographische Aufzeichnungen, die mit einem Siemens-Cardirex-6fach-Schreiber registriert wurden.

Das erste EKG wurde einige Tage vor der Operation angefertigt. Weitere folgten in einem Zeitraum von zwei Monaten bis maximal 37 Monaten nach dem Eingriff.

Auf Grund noch nicht veröffentlichter Ergebnisse physikalischer Kreislaufanalysen nach der Methode von Broemser und Ranke kann man vielfach eine relative myogene Insuffizienz in den ersten drei bis vier Wochen nach einem herzchirurgischen Eingriff feststellen. Meist erholt sich aber das Myokard innerhalb eines halben Jahres. Dieser Prozeß kann sich aber auch einmal bis zu einem Jahr hinziehen. Dazu kommt manchmal eine reaktive postoperative Begleitperikarditis, die in der Regel eine Verminderung des Zeitspannungsintegrals $\hat{A}\,T$ auslöst. Sowohl die myogene Insuffizienz als auch die Begleitperikarditis vereiteln den Versuch auch aus elektrokardiographischen Aufzeichnungen in den Tagen unmittelbar nach der Operation verwertbare Ergebnisse zu erhalten.
(Dr. Leutschaft's noch nicht veröffentlichte Untersuchungen)

I. Herzfehler mit vorwiegender Linksbelastung

1. Offener Ductus arteriosus Botalli

Der Ductus arteriosus Botalli stellt eine Verbindung zwischen der Aorta und der arteria pulmonalis dar, die in der Embryonalzeit dazu dient, den Pulmonalkreislauf weitgehend auszuschalten. Post partum pflegt dieser Kurzschluß in der Regel zu obliterieren. Bleibt die Obliteration aus, so wird ein Teil der Blutmenge, die eigentlich für den Körperkreislauf bestimmt war, über den offenen Ductus arteriosus dem kleinen Kreislauf zugeführt. Daraus erwächst dem linken Ventrikel eine beträchtliche Mehrarbeit, da er ein größeres Minutenvolumen zu bewältigen hat. Auf diese Belastung antwortet der linke Ventrikel mit einer Hypertrophie und Dilatation mäßigen Grades. Der Forderung an

Volumenarbeit des linken Ventrikels steht besonders bei einem Shunt von weiterem Lumen eine vermehrte Druckarbeit des rechten Ventrikels gegenüber. Eine ausgeprägte Widerstandshypertrophie der rechten Kammer stellt sich gewöhnlich aber erst ein, wenn sich eine sekundäre Pulmonalsklerose ausgebildet hat oder es kommt zur volumenbedingten pulmonalen Hypertonie, wenn ein entsprechend großer Links-Rechts-Shunt vorliegt (22, 25, 13).

Wenn die Rechtsbelastung länger anhält, ergeben sich elektrokardiographische Hinweise auf eine Rechtsschädigung und Rechtsverspätung (13). Der unkomplizierte Ductus arteriosus dagegen hinterläßt im Extremitäten-EKG keine besonders auffälligen Spuren. Zeichen von Linkshypertrophie zeigen sich allerdings gelegentlich in den praecordialen Ableitungen (17).

Uns standen in 32 Fällen die elektrokardiographischen Aufzeichnungen von Patienten im Alter zwischen 3 und 33 Jahren zur Verfügung.

Es sollen zunächst Größe bzw. Länge der Vektoren und des Gradienten diskutiert werden. Die noch nicht behandelten Patienten zeigen beim Vektor $\hat{A}$ QRS einen verhältnismäßig hohen Mittelwert von 35,6 µVsec. Mit 67,2 µVsec erreicht der Gradient G fast das Doppelte von $\hat{A}$ QRS. Da der Vektor T mit 35 µVsec seinerseits annähernd mit $\hat{A}$ QRS übereinstimmt, stößt man auf das bei Untersuchungen gesunder Herzen sonst geläufige Verhältnis von $\hat{A}$ QRS : $\hat{G}$: $\hat{A}$ T = 1 : 2 : 1. Wenn auch die Vektoren zueinander die übliche Korrelation aufzeigen, so liegen doch die absoluten Werte erheblich über den mittleren Normalwerten, was schon daraus hervorgeht, daß sie sich nach der Durchtrennung des Ductus arteriosus persistens rasch vermindern. In der postoperativen Phase werden $\hat{A}$ QRS mit 24,5 µVsec, der Gradient mit 56,9 µVsec und $\hat{A}$ T mit 35,9 µVsec im Mittel gefunden. $\hat{A}$ T liegt somit nicht unter dem praeoperativen Mittelwert von 35 µVsec, sondern ist praktisch unverändert geblieben. Die Korrelation 1 : 2 : 1, die gerade für die postoperative Zeit zu fordern war, wird durch den hohen Wert $\hat{A}$ T durchbrochen. Wir werden noch sehen,

daß auch bei den übrigen angeborenen Herzfehlern die Größe des Vektors $\hat{A}$ T über der von $\hat{A}$ QRS liegt, trotzdem aber nach einem erfolgreichen Eingriff zurückgeht. Bei einer Berechnung, die in den unmittelbar auf die Operation folgenden Tagen angestellt wurde, mißt er 27,8 µVsec. $\hat{A}$ T wurde demnach erst kleiner, um sich dann im weiteren Verlauf der Rekonvaleszenz wieder etwas anzuheben. Die unmittelbar postoperativ verminderten Werte von $\hat{A}$ T führt Leutschaft wie schon erwähnt auf eine postoperative Begleitperikarditis zurück.

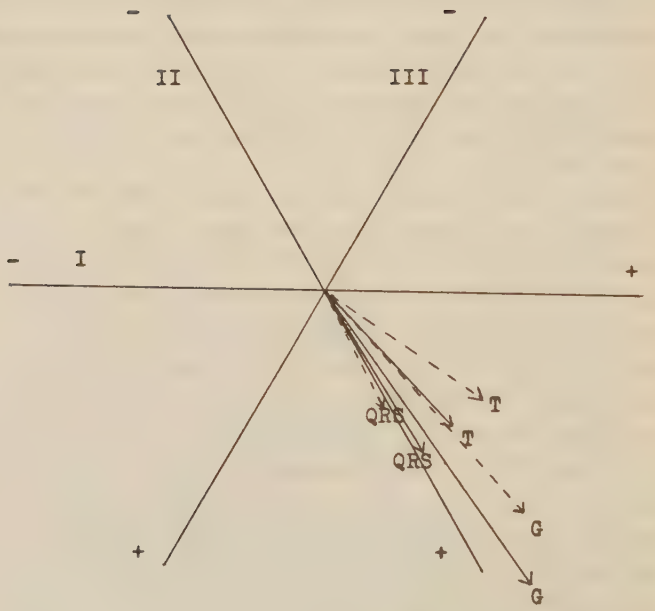
Im Einzelfall bietet das EKG des offenen Ductus keine markanten diagnostischen Hinweise. Verfolgt man bei einer umfangreicheren Zahl von Kranken die Winkel α der Vektoren und des Ventrikelgradienten, so ergeben sich im Gesamtbild Hinweise, die sich folgerichtig mit den gewandelten Bedingungen der Hämodynamik in Einklang bringen lassen. Eine besondere Rolle kommt dabei dem Winkel α des Vektors QRS zu.

Mexikanische Autoren (23) verlegen α QRS bei 67 % ihrer Patienten in den Sektor fünf des Bayley'schen Triaxialen Systems, d. h. zwischen 60° und 120°; nur 24 % dagegen lassen sich im Sektor sechs, d. h. zwischen 0° bis 60° einreihen. Demzufolge weist nur eine Minderheit die Zeichen einer Linksbelastung auf. Unsere Patienten dagegen konzentrieren sich mit 66 % auf den Sektor sechs und nur mit 44 % auf den fünften Sektor. Der mittlere Wert liegt praeoperativ bei 57,1°. Landtman (17) gibt an, daß der entsprechende Winkel α QRS bei 52,2° liegt. Die Annahme, der linke Ventrikel unterliege einer Mehrbelastung, die im allgemeinen allerdings gering ist, wird durch den Befund belegt, den die Untersuchungen nach dem Eingriff ergeben. Der Winkel α QRS schwenkt postoperativ leicht nach rechts und verharrt im Mittel bei 62,3°. Auch Landtman (17) bestätigt die geringe Rechtsverlagerung und führt α QRS mit 60° an. Die Verteilung nach Prozenten ergibt im Triaxialen System die Verlagerung von α QRS mit dem Uhrzeiger. Statt 66 % fallen auf den Sektor sechs nur noch 47 %, umgekehrt wächst der prozentuale Anteil des fünften Sektors von 44 % auf 53 %.

Skizze 4: Ductus arteriosus Botalli

ante op. ———

post op. - - -



Wenn wir uns nun dem Gradienten zuwenden, stellen wir fest, daß er gegen den Uhrzeigersinn, also nach links, abdreht. Diese Drehung beginnt bei 53,4° ante op. und kommt, wie der letzte Untersuchungstermin ergab, bei 46,3° zum Stillstand.

Analog zum Winkel des Gradienten wandert der Winkel $\alpha \hat{T}$ von 45,2° nach 33,2°. Diese Anlehnung des Gradienten an den Winkel α T darf als Hinweis gewertet werden, daß der Gradient eher in Abhängigkeit vom Erregungsrückgang als von der Erregungsausbreitung und damit vom Winkel α QRS steht.

TABELLE I - Ductus arteriosus Botalli

	$\hat{A}$ QRS		$\hat{G}$		$\hat{A}$ T	
	praeop.	postop.	praeop.	postop.	praeop.	postop.
µVsec	35,6	24,5	67,2	56,9	35,0	35,9
α	57°	62°	53°	46°	45°	33°

	α QRS-T	
	praeop.	postop.
α	36°	35°

2. Aortenisthmusstenose

Unter dem Begriff der Aortenisthmusstenose soll hier nur der sogenannte Erwachsenentyp verstanden werden. Der Ductus arteriosus ist in der Regel geschlossen und die Stenose liegt knapp distal seiner Einmündung in die Aorta. Meistens läßt sich ein Kollateralkreislauf über die arteriae mammariae internae und die Intercostalarterien nachweisen (15, 22). In der Regel bietet ein solches Herz praeoperativ die Zeichen einer reinen Linkshypertrophie als Folge einer Druckbelastung.

Ein charakteristisches EKG scheint es bei der Aortenisthmusstenose nicht zu geben. Übereinstimmung herrscht bei den verschiedenen Autoren über das gehäufte Auftreten von linkstypischen EKGs. Rhodes (20) kann diesen Befund ebenso wie Bär (4) in der Hälfte der Fälle erheben. Landtman (17) weist nur etwa bei einem Drittel seiner Patienten die Linksabweichung nach.

Unsere Messungen wurden bei vier Patienten im Alter von 19 bis 34 Jahren gewonnen. Eine geschlossene Betrachtung aller vier Fälle ist wegen des bunten Erscheinungsbildes nicht möglich. Vorausgeschickt sei, daß sich nur bei einem Patienten postoperativ der systolische und diastolische Blutdruck senkte, bei zwei anderen hält er sich etwa auf gleicher Höhe, während er bei dem ältesten, einem 35jährigen, 10 Monate nach dem Eingriff auf einen systolischen Wert von 200 mm Hg klettert. In diesem Falle scheint es fraglich, ob die Anastomose durchgängig geblieben ist. Eine geringe Streuung zeigt die Fläche QRS ante op. Ihre mittlere Größe liegt mit 35,5 µVsec höher als einem Normalwert zukommt. Es ist berechtigt, auf die anfangs geschilderte Beziehung von Hypertrophie und Hochspannungs-EKG bzw. vergrößerter QRS-Fläche hinzuweisen. Auch mit T (51 µVsec) verhält es sich ähnlich. Nun wäre bei höherem Blutdruck, wie Dohrmann und Schmitt (9) bei Hypertrophie ohne Vitium sahen, ein kleiner Gradient zu erwarten, der sich aber in unserem Fall umgekehrt verhält.

Er liegt nämlich bei unseren vier Patienten über dem mittleren Normalwert von 50 µVsec.

Die praeoperativen Winkel α QRS sind je zur Hälfte linkstypisch bzw. rechtstypisch. Es läßt sich daraus ebensowenig wie aus α G, α T und α QRS-T eine Gesetzmäßigkeit ableiten.

Postoperativ verkürzen sich die Vektoren $\hat{A}$ QRS, $\hat{G}$ und $\hat{A}$ T fast alle um ein beträchtliches, liegen aber weiterhin über den Mittelwerten, womit, wie oben begründet, wegen des nahezu gleichgebliebenen Blutdruckes zu rechnen war.

Nach der Resektion der Aortenisthmusstenose lassen die Winkel α QRS und α T, wie schon vorher, keine bindende Aussage zu. Lediglich bei dem Patienten, bei dem auch ein Blutdruckabfall gemessen wird, rückt α QRS in der Frontalebene noch weiter nach rechts (von 86° auf 94°). Dies darf wohl als Zeichen einer Linksentlastung aufgefaßt werden.

Tabelle II - Aortenisthmusstenose

		praeop.							postop.						
Namen	Alter	QRS µVsec	G µVsec	T µVsec	∝ QRS	∝ G	∝ T	∝QRS-T	QRS µVsec	G µVsec	T µVsec	∝ QRS	∝ G	∝ T	∝QRS-T
Ki. A.	19	37,5	60	42,5	113°	59°	20°	83°	36	51	32,5	105°	67°	23°	82°
Gr. H.	20	34	86	55	86°	68°	58°	28°	21	71	56,5	94°	52°	37°	57°
Fe. H.	24	33	110	77	-23°	-10°	-5°	18°	32	81	49	-8°	5°	13°	21°
Fi. J.	35	37,5	56	30	- 4°	-34°	-72°	68°	33	24	9,5	-20°	-11°	139°	159°

II. Herzfehler mit vorwiegender Rechtsbelastung

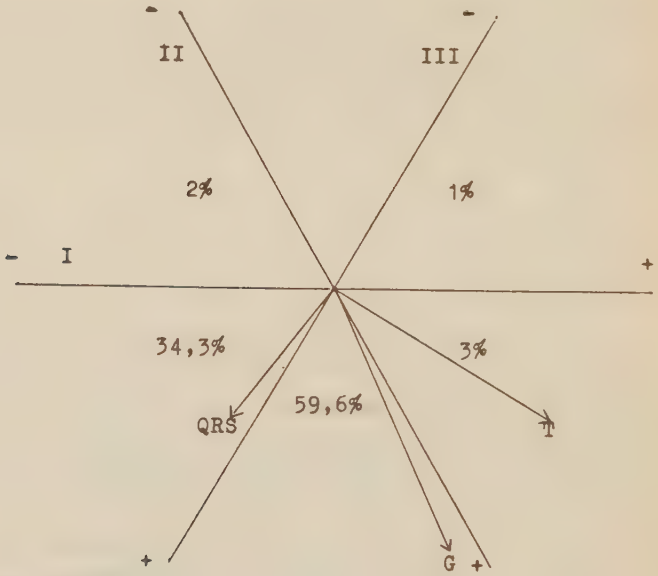
1. Pulmonalstenose

Nach pathologisch-anatomischen Gesichtspunkten unterteilt man die isolierte Pulmonalstenose in verschiedene Formen. Als deren bekannteste Spielarten unterscheiden wir die valvuläre, die infundibuläre und supravalvuläre oder periphere Pulmonalstenose (22).

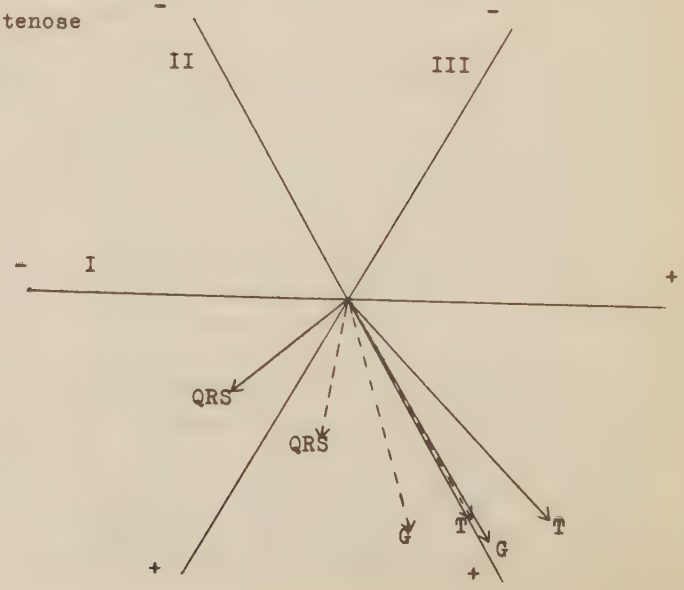
Wir können sieben Fälle von valvulärer bzw. infundibulärer Stenose anführen. Da sich die Hämodynamik bei beiden Typen gleich verhält, wollen wir sie zusammen abhandeln.

Der Grad der Stenose bestimmt das Ausmaß der Hypertrophie des rechten Herzens. Die Höhe des systolischen Druckes im rechten Ventrikel ist ihrerseits von dem Grad der Stenose abhängig, wobei eine direkte Korrelation von $\hat{A}$ QRS in der Frontalebene zum systolischen Druck erwiesen wurde (18). In extremen Fällen konnten im rechten Ventrikel systolische Werte von 200 mm HG und darüber gemessen werden. Die anatomische Form des Herzens wird von der rechten Kammer unter Umständen so beherrscht, daß der linke Ventrikel förmlich in der Masse des rechten untergeht. Eine derartige Umkehr der natürlichen Relationen läßt auf eine übermäßige Rechtsverlagerung der Integralvektoren schließen. Wir fanden unsere Annahme auch bestätigt. Mit 141° liegt α QRS praeoperativ im Bereich des Rechtstyps. Ein erhebliches Abweichen nach rechts von α QRS berichten auch Welsch und Wieland (27) von drei Patienten mit isolierter Pulmonalstenose. Die rechtsbetonte Lage von $\hat{A}$ QRS geht aus der Skizze 5 nach Sodi Pallares (23), ebenso wie aus den von Burch und de Pasquale (18) in der gleichen Skizze wiedergegebenen Werten hervor. Zweimal fallen die QRS-Vektoren bei unseren Messungen sogar in den Bereich des starken und des überdrehten Rechtstyps. Postoperativ wandert α QRS nach der geglückten Rechtsentlastung auf $100{,}2^{\circ}$ zurück. In zwei Fällen allerdings beteiligt sich der Vektor nicht an der Wanderung, sondern bleibt fast unverändert als Rechtstyp bzw. als überdrehter Rechtstyp bestehen. Wir müssen annehmen, daß der Zustand

Skizze 5: Pulmonalstenose mit präoperativen Mittelwerten von $\hat{A}$ QRS, $\hat{G}$ und $\hat{A}$ T nach Burch und de Pasquale; dazu die prozentuale Verteilung von $\hat{A}$ QRS nach Sodi Pallares.



Skizze 6: eigene Werte bei der Pulmonalstenose
ante op. ——
post op. - - -



der Hypertrophie in diesen beiden Fällen fortdauert, was auch durch die Brustwandableitungen bestätigt wird.

Der Gradient wechselt seine Position um 15° (von 58,5° nach 73,5°) nach rechts. Wir bleiben für dieses unerwartete Verhalten ebenso wie im umgekehrten Fall beim offenen Ductus arteriosus eine Erklärung schuldig. Im Gegensatz zu unserem Befund normalisiert sich nach de Pasquale und Burch α G in der postoperativen Phase.

T zieht dem Gradienten gleich, da sich sein Winkel von 45,7° nach 59,5° verlagert.

Die Faktoren, welche die Hochspannung im EKG herbeiführen, wurden bereits genannt. Nach Schaefer (12) kommen dafür eine zunehmende Dicke der Herzmuskelfaser, abnorme Länge oder ein gesteigerter mechanischer Spannungszustand in Frage. Hochspannung aber zieht ein größeres Zeitspannungsintegral nach sich. Die erwähnten Faktoren sind am Bild der Hypertrophie in wechselndem Maße beteiligt. Sie werden auch mit der Hypertrophie postoperativ verschwinden. So nimmt uns auch eine Verkleinerung der Vektoren ($\hat{A}$ QRS 27,6 µVsec - 26 µVsec, $\hat{G}$ 52,7 µVsec - 44,7 µVsec, $\hat{A}$ T 55,5 µVsec - 47 µVsec) nicht wunder. Die Verminderung des Zeitspannungsintegrals G kann de Pasquale (18) nicht bestätigen. Er beobachtet umgekehrt ein Anwachsen des Gradienten.

Tabelle III

	$\hat{A}$ QRS		$\hat{G}$		$\hat{A}$ T	
	praeop.	postop.	praeop.	postop.	praeop.	postop.
µVsec	27,6	26,0	52,7	44,7	55,5	47,0
α	141°	100°	58°	73°	45°	59°

α QRS-T	
praeop.	postop.

2. Vorhofseptumdefekt vom Sekundumtyp

Im Gegensatz zum Herzen mit offenem Ductus arteriosus Botalli, bei welchem der linke Ventrikel unter dem Zeichen einer Volumenüberlastung steht, muß man beim hämodynamischen wirksamen Vorhofseptumdefekt mit einem gesteigerten Durchfluß im rechten Ventrikel rechnen. Die Größe des gesteigerten Durchflusses im rechten Ventrikel richtet sich einmal nach dem Ausmaß des Defektes im Vorhofseptum, sowie nach dem bestehenden Druckgefälle zwischen beiden Vorhöfen. Bei hohen systolischen Blutdruckwerten findet sich eine entsprechende Hypertrophie der rechten Kammer, während die Dilatation eher als Folge des übermäßigen Durchstroms zu werten ist. Hypertrophie und Dilatation der rechten Kammer werden allerdings erst bei einem gleichzeitigen Druckanstieg im Pulmonalkreislauf mit einer Drehung der Herzachse nach rechts in Erscheinung treten (22).

Wir sehen am Beispiel der EKG von 12 Kranken im Alter von 4 bis 37 Jahren, wie sich der Gradient mit QRS und T nach einer erfolgreichen Operation wandelt.

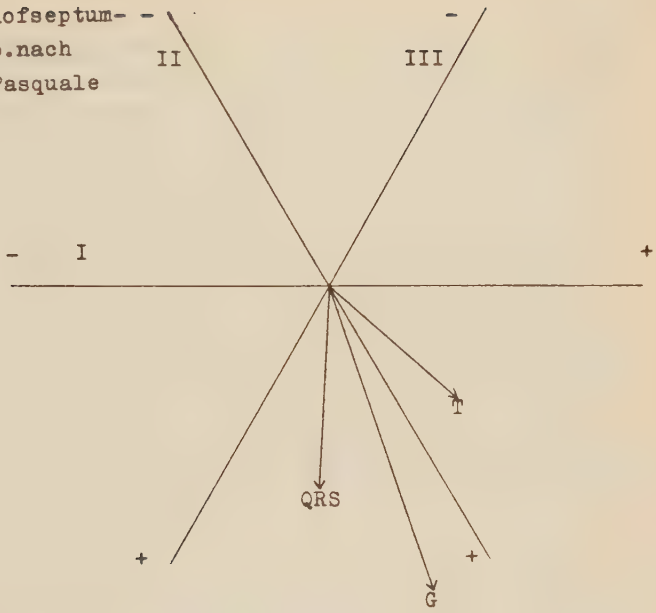
Die Winkel von QRS, G und T stellen sich praeoperativ wie folgt dar:

α QRS 126° α G $61{,}1^{\circ}$ α T $25{,}9^{\circ}$

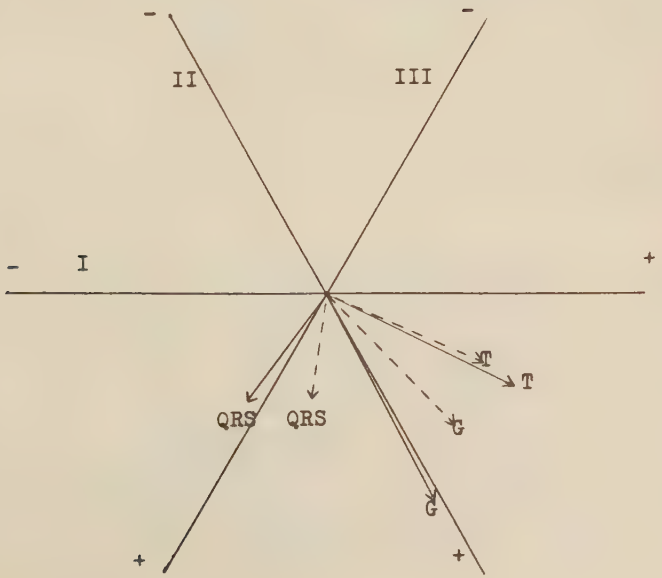
Besondere Beachtung zollen wir α QRS, welcher durch seine ausgeprägte rechtstypische Lage den Einfluß der hypertrophierten rechten Kammer auf die Erregungsausbreitung deutlich macht. So finden Sodi Pallares (23) und seine Mitarbeiter beim offenen Foramen sekundum bei 69 % α QRS im vierten Quadranten (+ 60° bis - 120°); 24 % im fünften Quadranten (+ 120° bis - 180°). Der durchschnittliche Winkel α QRS + 126° unserer Patienten stimmt damit überein.

Nach dem Eingriff geht die Forderung gedanklich dahin, daß die Rechtsvolumenbelastung und die Rechtsdruckbelastung als erste Faktoren wegfallen, ebenso im weiteren Verlauf aber auch die Rechtshypertrophie, so daß schließlich die elektrische Herzachse nach links schwenkt. Die gewonnenen Werte

Skizze 7: Vorhofseptum-defekt ante op.nach Burch und de Pasquale



Skizze 8: Vorhofseptumdefekt
eigene Werte
ante op. ———
post op. - - -



entsprechen diesem Postulat. QRS dreht um fast 30° nach links ab (auf α QRS 96,7°); ähnlich verhält sich der Gradient (auf $\alpha \hat{G}$ 44,9°). α T erweist sich mit einer Änderung von nur 3° als nahezu konstant (von 25,9° nach 22,8°).

Auf den praeoperativ weit geöffneten Winkel α QRS-T muß besonders hingewiesen werden. Einen ähnlich weiten Winkel fanden Burch und de Pasquale (7) bei 40 von 90 untersuchten Herzen mit Sekundumdefekt. Die Mittelwerte der Winkel QRS, G und T lagen in den Fällen, die die beiden Autoren bearbeitet haben, ebenfalls rechts der Position der durchschnittlichen Werte gesunder Menschen (7). Neben der gewöhnlichen Achsenabweichung nach rechts kommt nach Holzmann (14) noch bei 70 % ein Rechtsschenkelblock vor, der eine weitere Rotation der Herzachse vortäuscht. Da sich α QRS-T auch postoperativ noch als übermäßig offener Winkel von 82,9° behauptet, ist die Annahme berechtigt, daß ein noch bestehender Rechtsschenkelblock oder eine Rechtsverspätung in vielen Fällen die Rückbildung verzögert. Außerdem braucht die noch bestehende Rechtshypertrophie Jahre, um sich völlig zurückzubilden. Die Zeitspannungsintegrale von QRS, G und T vermindern sich postoperativ ohne Ausnahme. Diese Tatsache begegnet uns auch bei der Betrachtung der übrigen congenitalen Vitien.

Es ergaben sich die nachstehenden Zahlen:

TABELLE IV

	$\hat{A}$ QRS		$\hat{G}$		$\hat{A}$ T	
	praeop.	postop.	praeop.	postop.	praeop.	postop.
µVsec	24,7	19,3	43,6	34,3	39,5	31,6
α	126°	96°	61°	44°	25°	22°

	α QRS-T	
	praeop.	postop.
α	100°	82°

3. Fallotsche Trilogie

Die Fallotsche Trilogie steht ihren hämodynamischen Gesichtspunkten entsprechend in enger Nachbarschaft zur isolierten Pulmonalstenose und zum Vorhofseptumdefekt, was sich auch vom EKG besonders dann behaupten läßt, wenn bereits ein Rechts-Links-Shunt vorliegt (8). Zu den Kriterien einer Trilogie zählt einmal eine meist schwere Pulmonalstenose. Im Gegensatz zur Fallotschen Tetrade, mit der sich überwiegend eine infundibuläre Stenose verbindet, entdeckt der Operateur bei der Trilogie vorwiegend eine Pulmonalklappenstenose (22). Ein Vorhofseptumdefekt oder auch ein funktionell offenes Foramen ovale stellen eine weitere Bedingung dar. Die Rechtshypertrophie als Folge der Stenose erfüllt schließlich den dritten Punkt der Definition (22).

Je nachdem wie stark der Engpaß vor dem kleinen Kreislauf ausgeprägt ist, trifft man das Verhältnis der Muskelmassen zugunsten der linken oder rechten Kammer an. In der Regel dominiert der rechte Ventrikel durch seine konzentrische Hypertrophie. Unter dieser Voraussetzung umgeht ein Teil des venösen Blutes die Lunge und passiert nach dem Druckanstieg im rechten Atrium den Vorhofseptumdefekt.

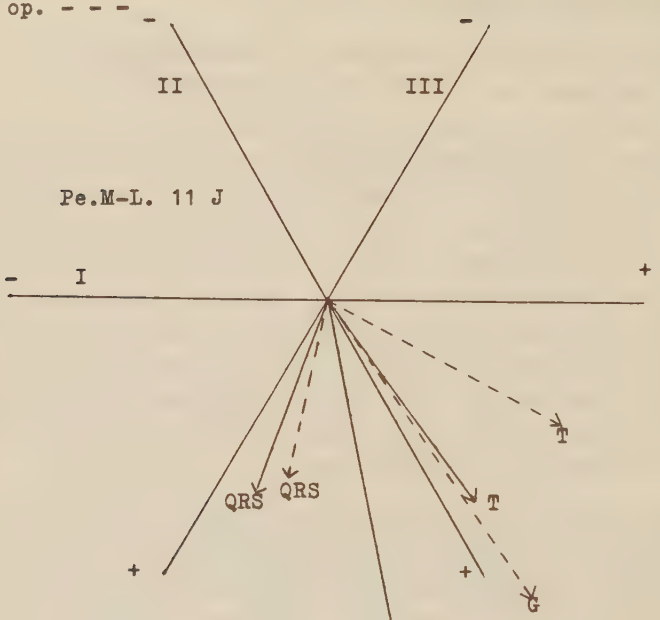
Als Maßstab der Rechtshypertrophie darf annähernd der Winkel $\hat{A}$ QRS gelten. An einem sehr reichen Beobachtungsmaterial demonstriert Sodi Pallares (23), auf welche Sektoren bei der Fallotschen Trilogie die elektrische Achse und damit $\hat{A}$ QRS nach Prozenten verteilt ist.

Wegen der Seltenheit dieser angeborenen Mißbildungen verfügen wir nur über die Beobachtung von vier Fällen im Alter von 6, 8, 11 und 19 Jahren. In drei Fällen weist die elektrische Achse, d. h. $\hat{A}$ QRS in den Winkelbereich des Rechtstyps und des Steiltyps. Dieser Befund deckt sich durchaus mit dem, was der mexikanische Autor Pallares an zahlreichen Patienten messen konnte. Berücksichtigen wir den Winkel QRS mit 34° der vierten Patientin, eines 8jährigen Mädchens, so müssen wir in diesem Fall auf eine diagnostische Hilfestellung verzichten,

Skizze 9:Fallotsche Trilogie

ante op. ———

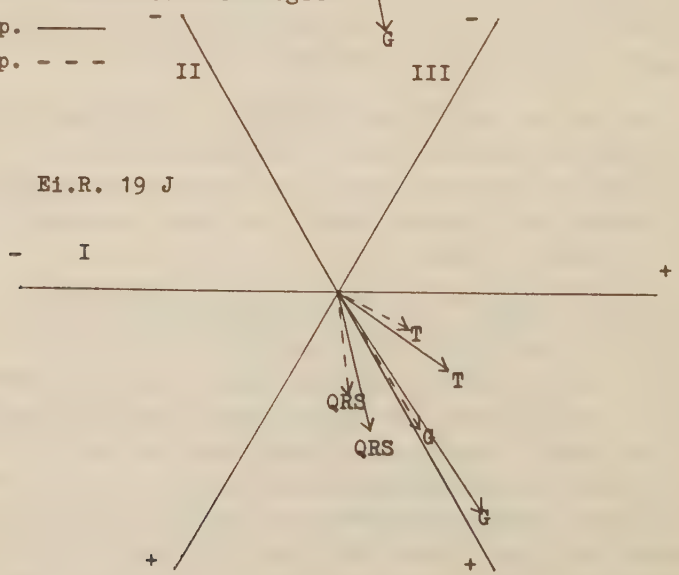
post op. - - -



Skizze 10: Fallotsche Trilogie

ante op. ———

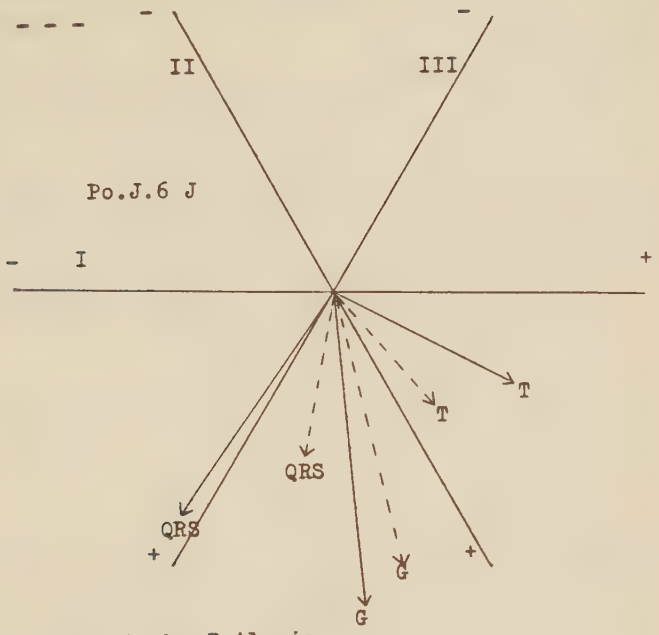
post op. - - -



Skizze 11: Fallotsche Trilogie

ante op. ———

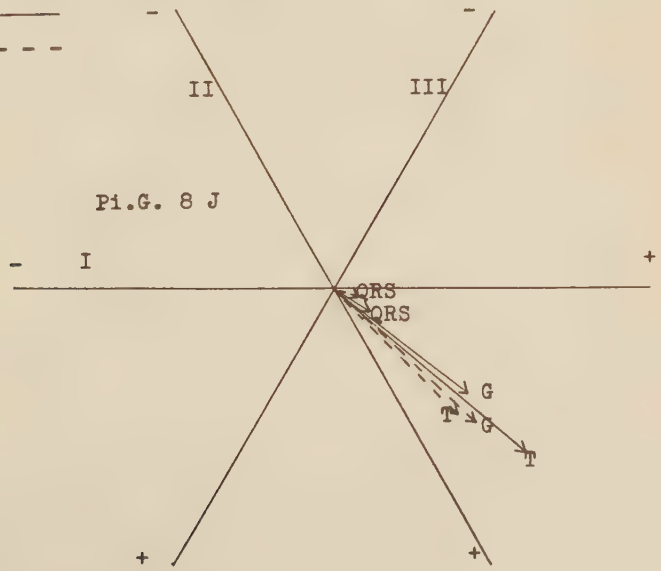
post op. - - -



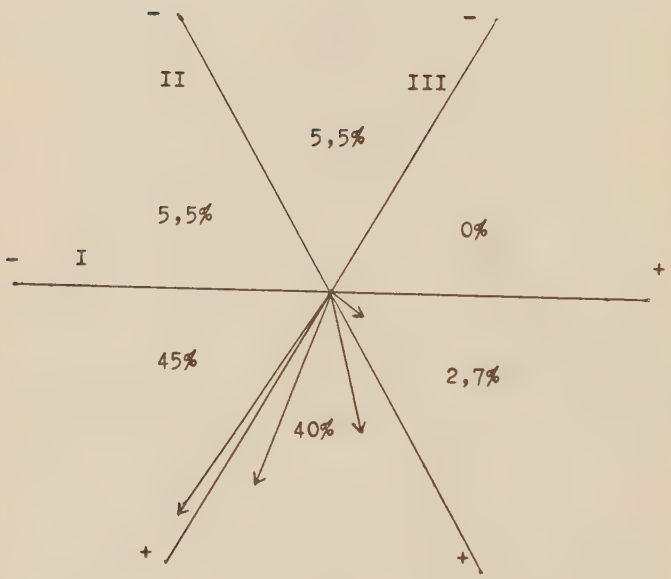
Skizze 12: Fallotsche Trilogie

ante op. ———

post op. - - -



Skizze 13: Fallotsche Trilogie
Prozentuale Verteilung von A QRS ante op. nach Sodi Pallares mit eigenen Werten ergänzt.



die es ermöglicht, mittels des Vektors eine Rechtsbelastung zu erkennen.

Post op. besteht bei α QRS die Tendenz nach links zurückzuwandern. Wiederum muß aber eine Ausnahme vermerkt werden.

Das Verhalten der übrigen Winkel α T und α G ist aus den Skizzen 9, 10, 11 und 12 ersichtlich. Daraus geht auch hervor, daß die zur Zeit der pathologischen Belastung des Herzens meßbare Hochspannung postoperativ in niedere Werte übergeht. Dies gilt insbesonders für das Zeitspannungsintegral von A QRS.

III. Herzfehler mit Rechts- und Linksbelastung

1. Ventrikelseptumdefekt

Den Defekt im Kammerseptum müssen wir in die hämodynamisch wirksamen Herzfehler einreihen, die sowohl den linken als auch den rechten Ventrikel belasten. Beide Ventrikel weisen Hypertrophie und Dilatation mäßigen Grades auf. Sobald es aber zur Entwicklung einer pulronalen Hypertonie kommt, werden die Zeichen einer Rechtshypertrophie in den Vordergrund rücken (22).

Wir können nur über die Verhältnisse bei drei Patienten berichten. Ein weiterer Fall mußte aus der Betrachtung ausscheiden, da er durch eine gleichzeitig bestehende Trichterbrust kompliziert wird.

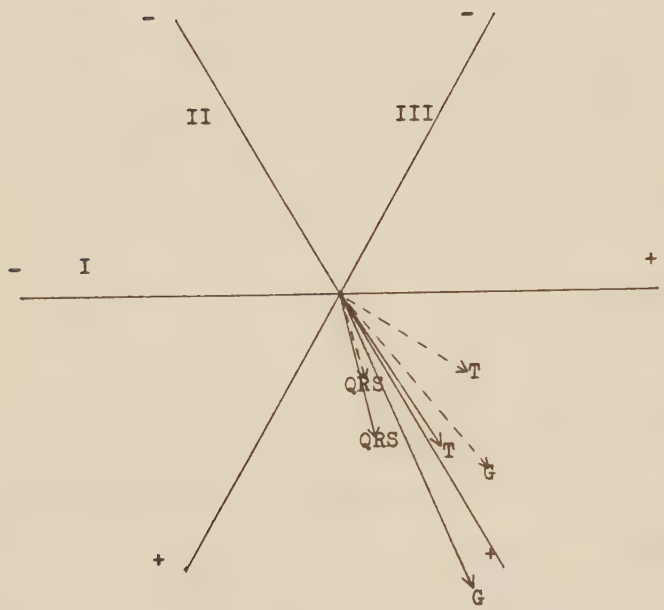
Die Patienten waren Kinder zwischen 7 und 13 Jahren. Wie bei den schon besprochenen Mißbildungen nehmen wir auch beim Kammerseptumdefekt zur Kenntnis, daß sich die Zeitspannungsintegrale gleichermaßen wie die Winkel postoperativ verringern. Unsere Werte, welche wir vor der Behandlung gewonnen haben, decken sich fast mit denen, die Burch und de Pasquale (6) bei 110 Fällen errechneten. Zum Vergleich werden die Werte der amerikanischen Autoren in Klammern wiedergegeben:

$\hat{A}$ QRS	27,6 µVsec	(26,7)	$\hat{G}$	60,8 µVsec	(63,2)
α QRS	77,6°	(75°)	α G	66,3°	(67°)
			$\hat{A}$ T	34,0 µVsec	(38,8)
			α T	57,3°	(59°)

Es sei hier auf die besonders auffällige Übereinstimmung der Ergebnisse hingewiesen.

Infolge der Doppelhypertrophie, d. h. der Zunahme der Muskelmassen beider Kammern, waren postoperativ keine allzugroßen Veränderungen der Winkel der Vektoren zu erwarten. Der Winkel α QRS wird nur um 3° linkstypischer; α $\hat{G}$ sehen wir bereits um 16°, wenn auch innerhalb des Normaltyps, nach links verlagert.

Skizze 14:Ventrikelseptumdefekt
eigene Werte
ante op. ———
post op. - - -



Mit einer Drehung von 25° rückt α T am weitesten von seiner praeoperativen Position gegen den Uhrzeiger.

Die genannten Änderungen deuten darauf hin, daß bei einer Hypertrophie beider Kammern der rechte Ventrikel die elektrische Herzachse maßgebend mitbestimmt.

Das Vektorensystem ist insgesamt nach links auseinandergezogen. Der Winkel zwischen den beiden Schenkeln QRS und T, also α QRS-T wird um 22° größer (von 20,3° auf 42,3°).

Wie bei den bisher abgehandelten Vitien stoßen wir auch hier wieder auf kleinere Zeitspannungsintegrale von $\hat{A}$ QRS, $\hat{G}$ und $\hat{A}$ T, nachdem die unphysiologische Volumen- und Druckbelastung durch einen Shunt operativ beseitigt wurde. Die Längenänderung der Integralvektoren geht aus der folgenden Tabelle im einzelnen hervor:

TABELLE V

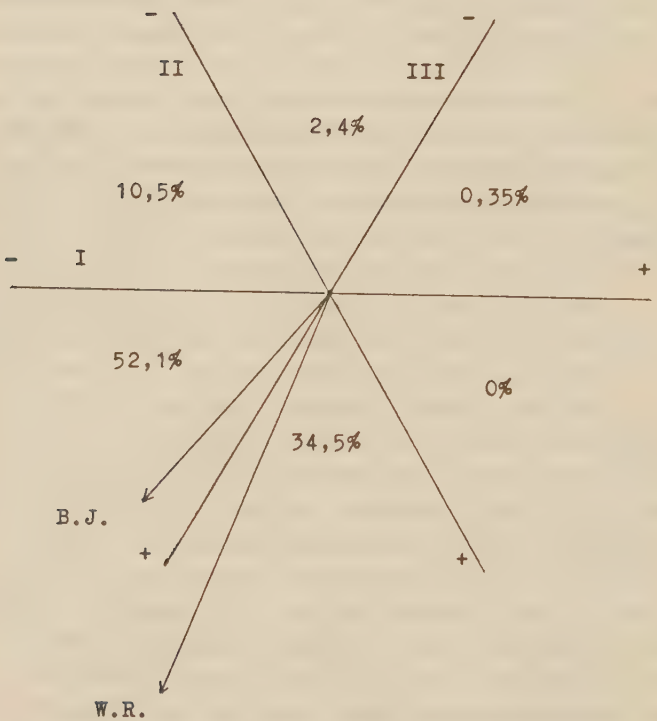
	$\hat{A}$ QRS		$\hat{G}$		$\hat{A}$ T	
	praeop.	postop.	praeop.	postop.	praeop.	postop.
µVsec	27,6	15,8	60,8	43,0	34,0	28,1
α	77°	74°	66°	50°	57°	32°

	α QRS-T	
	praeop.	postop.
α	20°	42°

2. Fallotsche Tetralogie

Die Fallotsche Tetralogie setzt sich pathologisch-anatomisch eigentlich nur aus drei Abnormitäten zusammen. Diese sind eine meist infundibuläre Pulmonalstenose, ein hoher Kammerseptumdefekt und schließlich darüber eine reitende Aorta. Der vierte Punkt der klassischen Definition, die Rechtshypertrophie, ist nur eine Folge der Pulmonalstenose und des Ventrikelseptumdefekts. Der Kammerseptumdefekt kann zum Druckausgleich beider Ventrikel führen. Der rechte Ventrikel wird daher in seiner Entwicklung bereits von Geburt an der linken Kammer an Masse nicht nachstehen, so bleibt das Verhältnis 1 : 1 des embryonalen Herzens gewahrt. Die Stenose der Pulmonalis zwingt einen Teil des Blutstromes sich den Weg über den Defekt des Kammerseptums direkt in den linken Ventrikel zu suchen, so daß sich die Rechtshypertrophie bei der klassischen Tetrade in Grenzen hält. Auf Grund angiokardiographischer Untersuchungen berichtet de Pasquale (19) über ein wesentlich geräumigeres Lumen im rechten als im linken Ventrikel. Brinton und Champbell (5) trafen bei Sektionen in der Mehrzahl eine um die Hälfte stärkere rechte Kammerwand an. So wird bei sagittaler Betrachtung das Herz ventral völlig vom rechten Vorhof und von der rechten Kammer beherrscht. Deswegen ist auch das Ausmaß der Drehung im Uhrzeigersinn bei kaum einem angeborenen Vitium so eindrucksvoll wie bei der Fallotschen Tetrade (19). Sehr überzeugend kommt diese Tatsache in der Verteilung von $\hat{A}$ QRS auf die einzelnen Sektoren zum Ausdruck. Dies können wir auch einer Studie von Sodi Pallares (23) entnehmen. (Skizze 15) In diese Skizze haben wir wieder wie bei der Trilogie die beiden von uns bearbeiteten Fälle eingetragen. Es handelt sich um ein 9jähriges Mädchen und einen 11jährigen Jungen. Die Winkel α QRS halten sich durchaus im Rahmen der Angaben, die die mexikanische Statistik gibt. Bemerkenswert ist das ausnehmend große Zeitspannungsintegral $\hat{A}$ QRS von 82 µVsec bei einem der beiden Patienten. Esist mit Abstand der größte Wert, den wir bei unseren Untersuchungen überhaupt registrieren konnten. Post op. wurde ein weiteres EKG jeweils im 5. bzw. im 13. Monat geschrieben. Von den Zeichen einer Normalisierung der elektrischen Herzachse kann allerdings nicht die

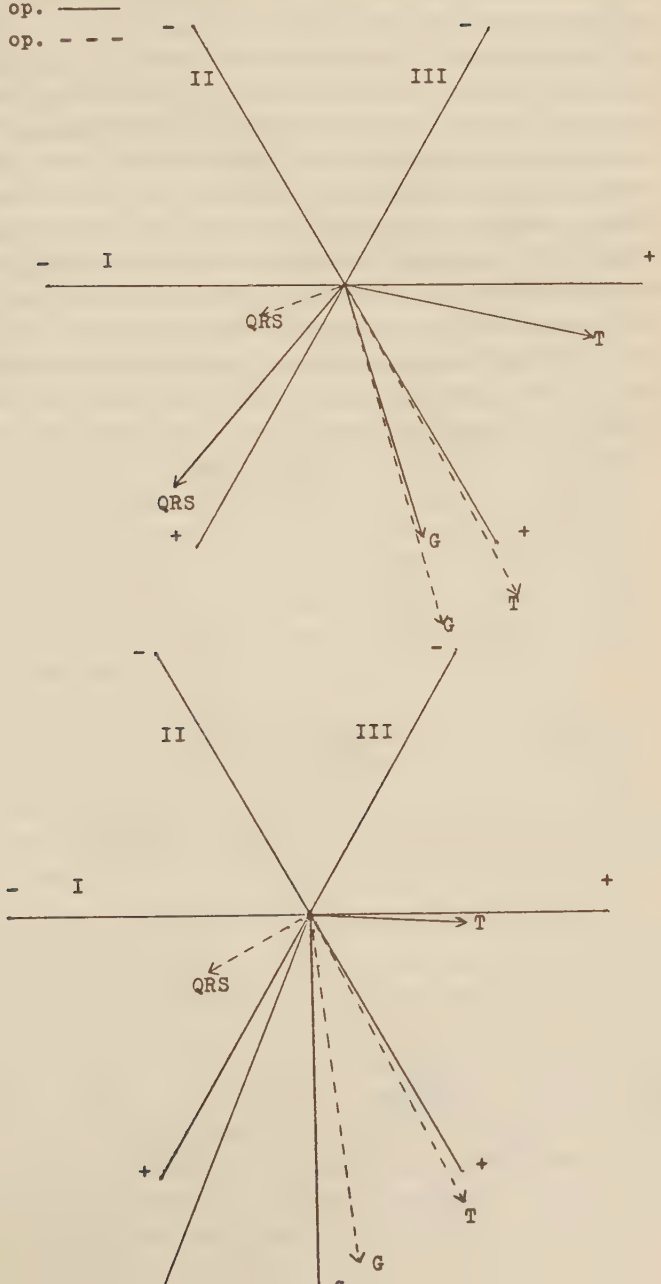
Skizze 15: Fallotsche Tetralogie
Prozentuale Verteilung von $\hat{A}$ QRS nach Sodi Pallares, ergänzt mit eigenen präoperativen Werten.



Skizze 16: Fallotsche Tetralogie

ante op. ——

post op. - - -



Rede sein. Beide Winkel sind weiter nach rechts geschwenkt und erreichen 161° und 151°. Ein Blick auf die geringfügigen Änderungen der übrigen Winkel und Größen verrät unschwer die der Erwartung völlig entgegengesetzt verlaufende Entwicklung nach der Operation. Einzig die Zeitspannungsintegrale von $\hat{A}$ QRS passen sich wegen ihrer verminderten Werte bei der Nachuntersuchung der großen Linie aller beseitigten kardialen Mißbildungen an. Holzmann (14) weist auf die besondere Häufung des Rechtsschenkelblocks mit Achsenabweichung nach rechts in etwa 40 % der Fallotschen Tetraden hin. Außerdem müssen wir in beiden Fällen auch die bei späteren Nachuntersuchungen bestehenden Rechtsschenkelblockbilder als Folge der Ventrikulotomie bei der Operation ansehen. Daher können auch keine Änderungen der Lage des Vektors $\hat{A}$ QRS mehr erwartet werden.

3. Fallotsche Pentalogie

Die Anomalien der Fallotschen Tetralogie, also Pulmonalstenose, Kammerseptumdefekt mit reitender Aorta und die obligate Rechtshypertrophie, zu denen noch ein Vorhofseptumdefekt kommt, machen das Formenbild der Fallotschen Pentalogie aus. Die Ausprägung der einzelnen Fehlentwicklungen bestimmt den Grad der Rechtsbelastung und der erhöhten Anforderungen, denen auch das linke Herz preisgegeben ist. Der Shunt vom rechten zum linken Vorhof führt dem linken Ventrikel Blutmengen zu, die die rechte Kammer erst gar nicht bewältigen mußte. Dagegen erlaubt der Rechts-Links-Shunt im Bereich der Ventrikel dem venösen Blut fast ausschließlich direkt in die Aorta zu strömen, so daß eine bei der Pentalogie beobachtete Linksüberlastung als Volumenbelastung allein auf den Vorhofseptumdefekt und dessen Rechts-Links-Shunt zurückgeht. Diese doppelten Shunts verhindern einen übermäßigen Anstieg des systolischen Druckes im rechten Ventrikel. So ist auch zu verstehen, daß bei der Pentalogie der Steiltyp in einen überwiegenden Prozentsatz der Fälle angetroffen wird, da der Defekt im Atrium vor extremer Rechtsbelastung schützt und es daher auch nicht so leicht zum überdrehten Rechtstyp kommen kann. (22)

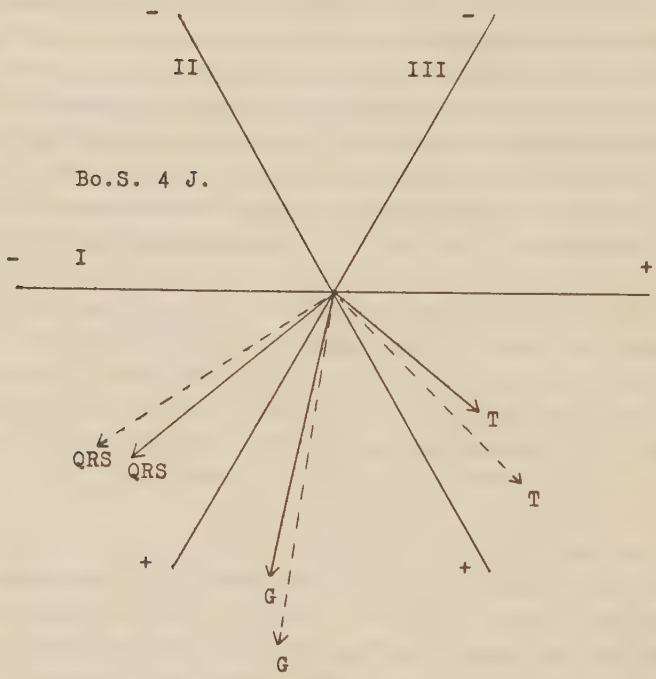
Bei der Operation - es handelte sich bei unserem Fall um einen palliativen Eingriff - wird eine künstliche Verbindung von der Aorta zur Arteria pulmonalis mit Hilfe der Arteria anonyma geschaffen. Sie kommt funktionell einem Ductus arteriosus gleich. Die Hämodynamik ist damit nicht wesentlich gewandelt.

Während sich sonst postoperativ, von wenigen Ausnahmen abgesehen, die Zeitspannungsintegrale einhellig vermindern, verfolgen wir bei der einzigen Patientin, einem zum Zeitpunkt der Operation dreijährigen Mädchen, daß die Zeitspannungsintegrale von $\hat{A}$ QRS wie von $\hat{G}$ und $\hat{A}$ T gleichermaßen höhere Werte erreichen. Wenn wir gewöhnlich post op. als Zeichen der Entlastung sehen, daß die Zeitspannungsintegrale fast regelmäßig abgebaut werden, so mag die umgekehrte Entwicklung zeigen, daß der Eingriff bei der kleinen Patientin zwar subjektiv Erleichterung brachte und die Zyanose weitgehend beseitigte, tatsächlich aber

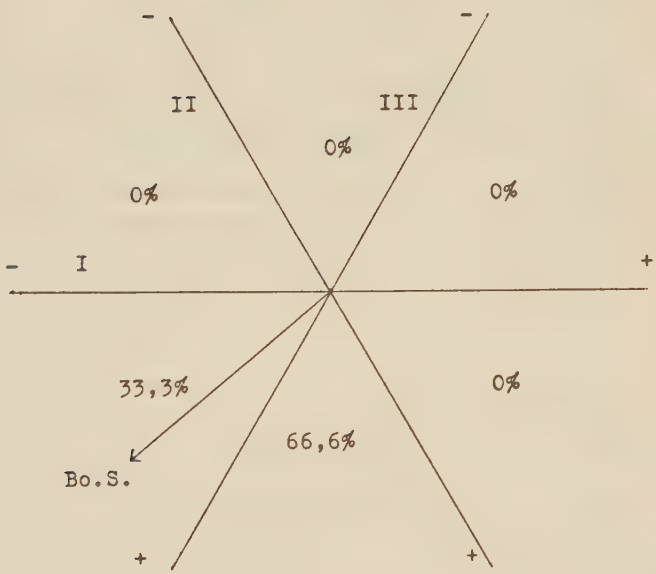
Skizze 18: Fallotsche Pentalogie

ante op. ———

post op. - - - (palliativer Eingriff nach Blalock-Tausig)



Skizze 19: Fallotsche Pentalogie
Prozentuale Verteilung von $\hat{A}$ QRS nach Sodi Pallares, ergänzt mit dem eigenen präoperativen Wert.



bleibt das Herz einer Druckbelastung und vor allem einer extremen Volumenbelastung ausgesetzt.

Die Winkel ∝ QRS und ∝ G gehören ante op. mit 140° bzw. 102° dem Rechtstyp unddem überdrehten Rechtstyp an. Da ∝ T nur 39° aufweist, folgt daraus der abnorm große Winkel ∝ QRS-T. Wie aus den Skizzen und Tabellen ersichtlich ist, trifft man post op. sowohl die elektrische Herzachse ∝ QRS als auch ∝ T noch um ein Geringes mit dem Uhrzeiger d. h. nach rechts versetzt an. Berücksichtigt man das Alter von drei Jahren bei der Operation und die Tatsache, daß die letzte Nachuntersuchung nach 18 Monaten, also im Alter von viereinhalb Jahren, erfolgte, dann darf wenigstens das Verhalten der Winkel als prognostisch nicht ungünstiges Zeichen angesehen werden. Auch das nach der Operation einsetzende beschleunigte Wachstum und die rasche Gewichtszunahme rechtfertigen den palliativen Eingriff.

Diskussion der Ergebnisse

Wir haben schon bei der Besprechung der einzelnen angeborenen Herzfehler immer wieder gesehen, daß sowohl die Vektoren als auch der Gradient in dem weiteren postoperativen Verlauf geringere Werte aufweisen. Die Zeitspannungsintegrale (µVsec) sind gegenüber den mittleren Werten vor der Operation augenfällig vermindert. Dabei kommt es nicht darauf an, ob ursprünglich im einzelnen eine Rechtshypertrophie, eine Linkshypertrophie oder beides vorlag.

Die Tabelle VI veranschaulicht die mittleren Werte von $\hat{A}$ QRS, $\hat{G}$ und $\hat{A}$ T aller besprochenen Herzvitien: (in µVsec)

$\hat{A}$ QRS		$\hat{G}$		$\hat{A}$ T	
praeop.	postop.	praeop.	postop.	praeop.	postop.
30,2	23,2	60,4	47,1	43,0	35,9

Das Verhältnis der Zeitspannungsintegrale von $\hat{A}$ QRS, $\hat{G}$ und $\hat{A}$ T wird gewöhnlich bei Herzgesunden mit 1 : 2 : 1 angegeben.

Wir fanden dagegen bei unseren Patienten vor der Operation das Verhältnis $\hat{A}$ QRS : $\hat{G}$: $\hat{A}$ T = 1 : 2 : 1,43. Da der Gradient aus $\hat{A}$ QRS und $\hat{A}$ T konstruiert wurde, taucht die Frage auf, ob $\hat{A}$ QRS bei unseren Patienten kleiner oder $\hat{A}$ T größer ausgefallen ist als die Mittelwerte bei gesunden Probanden. Ashman und Schaefer nennen als mittlere Normalwerte für $\hat{A}$ QRS 25 µVsec und für den Gradienten $\hat{G}$ 50 µVsec und für $\hat{A}$ T wie bei $\hat{A}$ QRS wieder 25 µVsec. Die mittleren Werte unserer Patienten liegen bei $\hat{A}$ QRS und $\hat{G}$ vor der Operation über den eben zitierten mittleren Normalwerten; nach dem Eingriff liegen sie darunter wie aus der Tabelle VI hervorgeht. Davon abweichend bleibt $\hat{A}$ T mit 43,0 µVsec ante op. und 35,9 µVsec post op. weit über dem mittleren Normalwert von 25 µVsec, wenngleich auch $\hat{A}$ T im Durchschnitt um 7,1 µVsec geringer wurde. Setzt man $\hat{A}$ T zu $\hat{A}$ QRS und zu $\hat{G}$ post op. in Beziehung, dann bekommt man die

Korrelation $\hat{A}$ QRS : $\hat{G}$: $\hat{A}$ T = 1 : 2 : 1,56. $\hat{A}$ T behält damit ein relativ hohes Zeitspannungsintegral.

Die genannte Abnahme der Vektoren darf dem parallellaufenden Abbau der Hypertrophieformen zugeschrieben werden. Wir erinnern in diesem Zusammenhang an die in der Einführung dargelegten Abhängigkeiten von Hochspannung, Querschnitt und Länge der Herzmuskelfasern. In diese Vorstellung fügt sich die Beobachtung von Dohrmann und Schmidt (9) ein, daß bei reiner Hypertonie mit zunehmenden Mitteldruck auch $\hat{A}$ QRS ansteigt. Diese Tatsache muß wohl auf die Hypertrophie der linken Kammer zurückgeführt werden. Es bleibt aber offen, warum im besonderen Falle der Hypertonie $\hat{G}$ und $\hat{A}$ T im Gegensatz zu $\hat{A}$ QRS nach Angaben der beiden Autoren kleiner werden, während wir bei Belastung eines Herzens durch irgendeine Form eines Shunts oder einer Stenose auch für $\hat{G}$ und $\hat{A}$ T abnorm große Werte errechneten.

Schließlich muß noch geklärt werden, in welchem Umfange die Vektoren eine Bedeutung für die Diagnostik angeborener Herzfehler haben können. Es scheint dabei zwei Möglichkeiten zu geben. Entweder liegt im wesentlichen eine Linksbelastung vor, wie bei der Aortenisthmusstenose und dem offenen Ductus arteriosus Botalli, solange sich noch keine secundäre Pulmonalsklerose eingestellt hat, oder der rechte Ventrikel wird überwiegend beansprucht, wie das für den Vorhofseptumdefekt, den Ventrikelseptumdefekt, die Pulmonalstenose und die nach Fallot benannten Defekte des Herzens gilt. Bei gleichzeitiger Belastung beider Ventrikel und der damit verbundenen Doppelhypertrophie bringen die Vektoren nur zum Ausdruck, welcher Ventrikel aufgrund seiner mächtigeren Hypertrophie die elektrische Herzachse nach links oder rechts abzulenken vermag. Dabei fällt in erster Linie $\hat{A}$ QRS sowohl als Winkel als auch als Größe eine bestimmende Rolle zu. Demgegenüber müssen der Gradient $\hat{G}$ und $\hat{A}$ T in ihrer diagnostischen Bedeutung zurücktreten. Auch den Winkel α QRS-T konnten wir nicht in der Weise auswerten, wie wir es uns vorgestellt hatten. Wir fanden ihn nur bei 25 von 66 Patienten kleiner als vor der Operation.

Unter ihnen fällt allerdings die Gruppe mit dem Vorhofseptumdefekt auf, bei der 8 von 12 Patienten postoperativ einen verminderten Winkel α QRS-T aufweisen. Es ist wohl denkbar, daß sich auch in anderen Fällen α QRS-T tatsächlich postoperativ verkleinert und es nur deshalb nicht registriert werden kann, weil die Extremitätenableitung Winkeländerungen in anderer als in der frontalen Projektion nicht erfassen kann.

Der linke Ventrikel ist nur scheinbar einer Mehrleistung auf die Dauer viel eher gewachsen als der rechte, da die Winkel α QRS selten stärker nach links abweichen. Der wahre Grund ist aber darin zu suchen, daß die anatomische Achse der linken Kammer und die Herzlängenachse nahezu zusammenfallen, während dies bei der rechten Kammer nicht der Fall ist. So ist der Winkel α QRS des Ductus arteriosus beim einzelnen Patienten nicht typisch wie auch andere Autoren bereits festgestellt haben (13, 17). Erst der Vergleich des prae- und postoperativen Befundes im Rahmen einer größeren Gruppe deckt die Spuren der Volumenbelastung des linken Ventrikels auf.

Dagegen prägt eine Rechtsüberlastung das EKG weit deutlicher. So nimmt α QRS des Vorhofseptumdefektes einen verhältnismäßig eng begrenzten Sektor zwischen 109° und 145° ein, da wir fast ausschließlich mit einer Volumenbelastung der rechten Kammer und entsprechender Rechtshypertrophie rechnen müssen. Die reine Druckerhöhung im rechten Ventrikel, wie sie durch die Pulmonalstenose ausgelöst wird, läßt die elektrische Herzachse im Mittel noch weiter nach rechts pendeln als eine Volumenbelastung es vermag. Da sich der Anstieg des Druckes nach dem Grad der Stenose richtet, ist der Winkel α QRS in einem gegenüber den Verhältnissen beim Vorhofseptumdefekt umfangreicheren Sektor anzutreffen, nämlich zwischen 225° ($= -135^{\circ}$) und 72°, im Mittel bei 141°.

Recht unauffällig gibt sich α QRS beim Ventrikelseptumdefekt. Gegen die Kombination von Druck- und Volumenbelastung schafft die Volumenbelastung der linken Kammer hinsichtlich der Lage der elektrischen Herzachse einen gewissen Ausgleich. Deswegen ist α QRS beim Ventrikelseptumdefekt in der Regel im Bereich

des Steiltyps zu suchen.

Einen sehr weit gespannten Sektor belegen die Winkel α QRS unserer Patienten mit Fallotscher Trilogie. Er reicht von 34° über 76° und 110° bis 124°. Bemerkenswert ist die eigenartige Beziehung zwischen Winkel und Zeitspannungsintegral. Je stärker α QRS nach rechts wandert, desto höher wird gleichzeitig das Zeitspannungsintegral (s. Skizze 13). Bei den übrigen Herzfehlern konnten wir ein derartiges Verhältnis nicht so deutlich beobachten.

Bei den beiden Patienten mit Fallotscher Tetralogie stößt der Winkel α QRS einmal in den Bereich des starken Rechtstyps bis 131° vor. Das andere Mal werden als Folge von Hypertrophie und Dilatation praeoperativ 112° gemessen.

Die genannten Werte zeigen wie dem Winkel α QRS im Rahmen der einzelnen Vitien bestimmte Sektoren zufallen, die zwar typische Schwerpunkte aufweisen, sich aber weitgehend überschneiden und deswegen höchstens geeignet sind, eine Diagnose zu ergänzen.
Sobald einmal umfangreichere Beobachtungen der Vektoren vor und nach Herzoperationen zur Verfügung stehen, wird man die Winkel und Zeitspannungsintegrale als brauchbare Zeugen des Zustandes eines Herzens in den Gang einer kardiologischen Untersuchung aufnehmen können.

Anmerkung: Sämtliche Zeichnungen sind gegenüber dem Original um 30% verkleinert.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Abhandlung wird das Verhalten der EKG-Vektoren vor und nach der Operation von angeborenen Herzfehlern untersucht und diskutiert.

Bei der Konstruktion und Berechnung der Vektoren bedienten wir uns aller drei Extremitätenableitungen an Stelle der sonst üblichen zwei Ableitungen.

1.) Die Zeitspannungsintegrale weisen ante. op. höhere Werte auf, als normalen Mittelwerten herzgesunder Probanten zukommt, vermindern sich aber postoperativ und werden kleiner als die normalen Mittelwerte gesunder Menschen. Eine Ausnahme bildet das Zeitspannungsintegral von $\hat{A}$ T, welches nach dem Eingriff zwar kleiner wird, aber trotzdem noch weiterhin über dem normalen Mittelwert liegt.

2.) Der Winkel des Vektors QRS, der die elektrische Herzachse darstellt, ist bei Rechtsbelastung im Bereich der Rechtstypen, bei Linksbelastung entsprechend umgekehrt anzutreffen. Allerdings ist die Linksbelastung mit relativ geringen Abweichungen der Winkel nach links verbunden.

3.) Nach der Operation strebt auch der Winkel α QRS den normalen Mittelwerten zu.

4.) Das Ausmaß des Abweichens von α QRS gegenüber normalen Mittelwerten Herzgesunder darf als Gradmesser der jeweiligen Belastung durch ein Vitium gelten.

Literaturverzeichnis:

1.) Hubert Abel
Zur Abhängigkeit des Ventrikelgradienten vom Schlagvolumen.
Z. f. Kreislaufforschg. 48 S 757 - 762 1959

2.) Richard Ashman and Edwin Byer
The normal human ventricular gradient.
I. Factors which affect its direction and its relation to the mean QRS axis.
Am. Heart J. 25 S 16 - 57 1943

3.) Richard Ashman, Manuel Gardberg and Edwin Byer
The normal human ventricular gradient.
III. The relation between the anatomic and the electrical axes.
Am. Heart J. 26 S 473 - 510 1943

4.) C. G. Bär u. C. L. C. van Niewenhuizen
Die Aortenisthmusstenose,
Prae- u. postoperative Untersuchungen.
Z. f. Kreislaufforschg. 44 S 791 - 799 1955

5.) W. D. Brinton and Maurice Champbell Necropsies in some congenital diseases of the Heart, mainly Fallots Tetralogy.
British Heart J. XV S 335 1953

6.) George E. Burch and Nicholas de Pasquale
The electrocardiogram, spatial vectorcardiogram, and ventricular gradient in congenital ventricular septal defect.
Am. Heart J. 60 S 202 1960

7.) George E. Burch and de Pasquale
The electrocardiogram and ventricular gradient in atrial septal defect.
Am. Heart J. 58 S 190 - 203 1959

8.) George E. Burch and Nicholas de Pasquale
The electrocardiogram and ventricular gradient in combined pulmonary stenosis and interatrial communication.
Am.J. of Cardiology 7 S 646 - 651 1961

9.) Rolf Dohrman u. W. Schmitt
Der Einfluß der Hypertonie auf das Vektorelektrokardiogramm, unter besonderer Berücksichtigung des Ventrikelgradienten.
Arch. f. Kreislaufforschg. 25 Heft 4 S 255 - 274 1957

10.) Charles K. Friedberg
Diseases of the Heart
2. Edition Philadelphia and London.

11.) W. Gärtner u. H. Schaefer
Die Theorie und die klinische Brauchbarkeit des Ventrikelgradienten im EKG.
Arch. f. Kreislaufforschg. 27 S 81 - 116

12.) M. P. Geppert u. H. Schaefer
Statistische Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Herzgröße und Maximalspannung von QRS im EKG.
Arch. f. Kreislaufforschg. 17 S 104 - 116 1951

13.) Fr. Grosse-Brockhoff u. F. Schellong
Herz und Gefäßkrankheiten (Lehrbuch der Inneren Medizin)
Bd. I, V. Aufl. S 679 - 872

14.) Max Holzmann
Klinische Elektrokardiographie
4. Aufl. S 260 1961

15.) Herwig Hamperl
Lehrbuch der Pathologie 24./25. Aufl. S 295

16.) Albert Hyman, R. B. Failey, Richard Ashman
Can the longitudinal anatomical axis of the ventricles be estimated from the electrocardiogram?
Am. Heart J. 36 S 906 - 910 1948

17.) Bernhard Landtman
Postoperative changes in the electrocardiogram in congenital heart diseases.
Circulation 10 S 871 - 885 1954

18.) Nicholas de Pasquale and G. E. Burch
The electrocardiogram and ventricular gradient in isolated pulmonary stenosis.
Circulation XXI S 181 - 187 1960

19.) Nicholas de Pasquale and G. E. Burch
The electrocardiogram, vectordiagram and ventricular gradient in tetralogy of Fallot.
Circulation XXIV S 94 - 109 1961

20.) Rhodes and Durbin Coarctation of the Aorta in Childhood
Am. J. Dis. Child. 64: 1073, 1942

21.) H. Schaefer
Das Elektrokardiogramm. Theorie und Klinik.
Berlin, Göttingen, Heidelberg 1951 S 56 - 57, 84

22.) J. Schmidt
Hämodynamik und Elektrokardiogramm
München und Berlin 1961

23.) Dimetrio Sodi Pallares u. Mitarbeiter
The mean manifest electrical axis of the ventricular activation process ($\hat{A}$ QRS) in congenital heart disease a new approach in electrocardiographic diagnosis.
Am. Heart J. 55 S 681 - 699 1958

25.) Helen B. Tausig
Congenital malformations of the heart. Vol. II S 494 1960

26.) L. Unghvary, F. Farkas
Über die Theorie und den klinischen Wert des Ventrikelgradienten.
Z. f. Kreislaufforschg. 43 S 468 - 477 1954

27.) A. Welsch u. Wieland
Über die klinische Brauchbarkeit des Ventrikelgradienten. Untersuchungen beim rechtstypischen EKG
Z. f. Kreislaufforschg. 42 S 262 - 275 1953

28.) Frank N. Wilson, A. Garrard Macleod, Paul S. Barker, and Franklin D. Johnston
The determinations and the significance of the areas of the ventricular deflections of the electrocardiogram
Am. Heart J. 10 46 - 61 1934

L e b e n s l a u f .

Am 25. Oktober 1937 wurde ich in Bayreuth als Sohn des Betriebsleiters Rudolf Leimenstoll geboren. Hier besuchte ich auch die Volksschule und das humanistische Gymnasium. Nach dem Abitur wurde ich im Herbst 1957 zum Wehrdienst einberufen. Mit dem Wintersemester 1958/59 nahm ich das Studium der Medizin an den Universitäten Erlangen und Wien auf. In Erlangen legte ich im Sommer 1964 das medizinische Staatsexamen ab. Seit dem Herbst 1964 arbeite ich als Medizinalassistent im Städtischen Krankenhaus in Bayreuth.

Buchdruck und Fotodruck: Ludwig Müller, Erlangen, Fahrstraße 5